

CONCEITO DE IDEOTIPO E SEU USO NO AUMENTO DO RENDIMENTO POTENCIAL DE CEREAIS

THE IDEOTYPE CONCEPT AND ITS USE TO INCREASE CEREAL'S YIELD POTENTIAL

Milton Luiz de Almeida¹ Claudio Mario Mundstock² Luis Sangoi³

- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

A presente revisão tem por objetivo apresentar algumas características consideradas interessantes de serem incorporadas em plantas de cereais quando cultivadas em comunidade, através da integração de conhecimentos de fisiologia, bioquímica e melhoramento. No melhoramento de diferentes espécies verifica-se que várias características de planta foram modificadas no processo de seleção para rendimento de grãos. Neste enfoque, propõe-se discutir a validade de incorporar estas características em cultivares e perguntar se as cultivares antigas tivessem sido melhoradas através destas características qual resultado teria sido alcançado. A discussão de ideotipo aumenta de importância com a rápida evolução das técnicas de avaliação da variabilidade genética, pois caso não seja definido um modelo de planta para aumentar o rendimento potencial estas técnicas podem ter uma utilização restrita. Na discussão de ideotipo para aumentar o rendimento potencial, é necessário formular um novo modelo baseado em algumas características já amplamente analisadas de forma isolada. As principais, são o maior crescimento inicial e maior fitomassa da comunidade, o que lhe permite aumentar a capacidade de aproveitamento da radiação, principalmente no início do ciclo da cultura. Somado a isto, o aumento da capacidade fotossintética através do aumento da força de demanda, com provável efeito sobre o índice de colheita. A ação conjunta das características individuais necessita ser testada quando incorporadas sobre um mesmo genótipo, para analisar o seu grau de resposta.

Palavras-chave: modelo de planta, crescimento inicial, fitomassa, tamanho de folha, tamanho e número de grãos.

SUMMARY

This review has the purpose of presenting some important traits to be incorporated in cereals through the integration of physiology, biochemistry and plant breeding. Several plant attributes were modified during the selection process to improve grain yield of different plant species. This paper intends to discuss the validity of aggregating some of these traits in new cultivars and to pinpoint the possible consequences of using those individual characteristics rather than grain yield per se to bred the old genotypes. Discussion about crop ideotypes grows in importance with the fast evolution of genetic variability techniques because if a model plant to increase grain yield is not defined all the new genetic technology available may have a narrow practical utilization. This ideotype was formulated integrating several characteristics that have been analyzed individually in the past. Its main proposed features are: (a) higher initial growth and greater communal phytomass, which are both important to improve solar radiation use, particularly during early stages of development; (b) an increase in photosynthetic capacity through the enhancement of sink strength with a probable effect on harvest index. The collective influence of the suggested traits must be evaluated on different genotypes to analyze the response level obtained.

Key words: model plant, initial growth, phytomass, leaf size, grain and number size.

¹Engenheiro Agrônomo, Msc, Professor da Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Aluno do Curso de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Bolsista da CAPES, Caixa Postal 281, Lages, SC, 88520-000. Autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor de Agronomia da UFRGS, Bolsista do CNPq.

³Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor da Faculdade de Agronomia da UDESC, Caixa Postal 281, Lages, SC.

O CONCEITO DE IDEOTIPO

Ideotipo, segundo DONALD (1968), significa “uma forma a partir de uma idéia”. Esta definição, apesar de simples, envolve o conhecimento de muitas áreas, tais como fisiologia, bioquímica, anatomia e melhoramento de plantas. DONALD (1968) entendia que, para a definição de um ideotipo, seria necessário identificar as características que deveriam fazer parte de um novo modelo de planta, levando em consideração todas as informações sobre estas características e o ambiente onde esta planta seria cultivada.

Nas principais espécies cultivadas em lavoura, o incremento na produção ocorreu através de um método de melhoramento conhecido como modelo empírico, onde seleciona-se pelo rendimento de grãos (HAMBLIN, 1993). A utilização deste método proporcionou aumento no rendimento principalmente devido ao aumento do índice de colheita (IC) (SLAFER & ANDRADE, 1991). Em decorrência disto, na maioria das espécies cultivadas em lavoura o IC já está próximo ao seu limite máximo, que se situa entre 45 e 50% (AUSTIN *et al.*, 1980). Portanto, a utilização desta característica pode ser limitada em programas que visem futuros incrementos na produtividade.

Numa análise detalhada de 10 cultivares de cevada lançadas entre 1920 e 1984, BOUKERROU & RASMUSSEN (1990) verificaram que o aumento do rendimento de grãos foi seguido por mudanças em outras características, além do IC. Entre estas características observadas, foi constatada diminuição na estatura de plantas, além de mudanças no rendimento biológico, no rendimento vegetativo, no ciclo e na massa de grãos. WADDINGTON *et al.* (1986) ressaltam a importância do aumento do número de grãos por espiga para o rendimento de trigo, como resultado do aumento da fitomassa e não do IC. Resultados semelhantes foram obtidos para trigo duro (WADDINGTON *et al.*, 1987). Considerando os resultados destes trabalhos, uma pergunta torna-se inevitável: se fosse realizado melhoramento para estas características individuais, qual seria o rendimento de grãos obtido?

Neste sentido, segundo HAMBLIN (1993), seria mais racional o melhoramento através do modelo chamado analítico, onde o melhorista tem um modelo preciso da planta que pretende obter e vai em busca destas características. Apesar das áreas de fisiologia, genética, bioquímica e biologia molecular terem tido um grande desenvolvimento nos últimos anos, esses conhecimentos ainda não são utilizados para delinear modelos de plantas. Isto pode ser visto na utilização

das novas técnicas de auxílio ao estudo da variabilidade genética (QTL, RFLP e outros). Em 1995, aproximadamente 60% dos trabalhos com transformação de plantas foram realizados com o objetivo de eliminação de estresses (tolerância à herbicidas, resistência a doenças, vírus e insetos). Muito poucos foram voltados à melhoria para ideotipo ou para um novo modelo de planta (LAW, 1995). Este cenário não mudará se não for definido qual o tipo de planta que melhor se desempenha em diferentes ambientes. A discussão de ideotipos é parte do esforço para o aumento do rendimento potencial e esta revisão tem por objetivo a apresentação de algumas características de planta que poderiam fazer parte de um novo modelo biológico.

POR QUE IDEOTIPOS TEM SIDO TÃO QUESTIONADOS?

O questionamento das idéias de DONALD (1968) já inicia na definição de ideotipo. Segundo este autor, ideotipo é um termo que não pode ser considerado fixo, ou seja, não há um ideotipo ideal para todos os ambientes, mas sim um para cada ambiente e para cada objetivo de cultivo. O fato de que DONALD (1968) tenha definido um ideotipo não significa que seja o ideotipo único. Segundo HAMBLIN (1993) este modelo estava sendo recomendado para um único caso. Claramente não existe um único ideotipo para as espécies ou regiões (SEDGLEY, 1991).

A crítica à utilização de ideotipo baseia-se no fato de que a identificação de características morfofisiológicas que tenham grande impacto sobre o rendimento de grãos da cultura é muito restrita (MARSHALL, 1991). De fato, a identificação desta(s) característica(s) não é fácil. Dificilmente será encontrada uma característica, como estatura de planta, que apresentou grande impacto sobre a capacidade produtiva de uma comunidade. Em estudo de progresso genético, SAYRE *et al.* (1997) citam que os primeiros progressos genéticos significativos em trigo foram obtidos pela inclusão de genes de nanismo, Rht1 e Rht2. MARSHALL (1991) também aponta como problema a correlação negativa entre características, por exemplo, entre número de afilhos e tamanho da espiga em trigo. A quebra de blocos de ligação é importante para a associação de características desejadas no desenvolvimento de um ideotipo. Ela é uma das etapas mais difíceis a ser vencida, mas alguns trabalhos já apresentam resultados promissores. Entre estes o de KATO & TAKEDA (1996) em arroz utilizando duas populações de linhagens recombinantes. O maior desenvolvimento da panícula pode ser obtido através

de maior número de espiguetas, juntamente com maior número de grãos, ou seja, quebrando a correlação negativa existente entre estes componentes do rendimento. Uma limitação a esta proposta é a falta de variabilidade genética para algumas características (HAMBLIN, 1993), mas com as novas técnicas de manipulação genética, esta barreira poderá ser facilmente ultrapassada no futuro.

Um aspecto polêmico da proposta de DONALD (1968) é a que se refere a capacidade competitiva. Ele definiu que o melhor tipo de planta seria aquele que fosse um competidor fraco (HAMBLIN, 1993), mas isto não implica que se tenha que selecionar plantas inviáveis ou com baixa capacidade produtiva. Segundo DONALD (1968) as plantas que apresentassem menor competição intraespecífica poderiam formar comunidades de plantas mais produtivas. O conceito de competidor fraco é chave na utilização do seu modelo analítico. Assim, a obtenção de comunidades com elevada fitomassa e alto IC, que possibilitem elevado rendimento de grãos, só é possível com materiais de menor competição intraespecífica (SEDGLEY, 1991). Segundo este autor as características de um competidor fraco são: (i) tolerância à plantas da mesma espécie em alta densidade; (ii) mínimo investimento em estruturas morfológicas; (iii) capacidade de resposta às melhorias do ambiente. MARSHALL (1991) comenta que é muito difícil avaliar esta capacidade competitiva. Neste caso, o problema não está na definição do tipo de planta pretendido, mas sim na falta de metodologia adequada para avaliá-lo. Desta forma, é fundamental que os pesquisadores busquem alternativas metodológicas para resolver este problema.

Além de apresentar uma alternativa para o melhoramento de plantas, DONALD (1968) também propôs um novo modelo de planta a ser obtido para um ambiente particular. Para este ambiente, sugeriu que plantas de trigo com um único colmo seriam mais produtivas que plantas multicolmo. Desde então, os muitos trabalhos avaliando esta característica para os cereais de estação fria (DOFING, 1996, DOFING & KNIGHT, 1994, KIRBY & JONES, 1977) mostraram que o rendimento de grãos destes materiais normalmente é menor que o das plantas multicolmos. Este exemplo demonstra a dificuldade para se alterar o atual modelo de planta, mesmo para uma característica como unicolmo, considerada vantajosa sob o enfoque morfofisiológico em condições de comunidade. Plantas com esta característica podem aumentar o potencial produtivo da comunidade ao estabelecer

menor competição entre plantas e dentro da planta. Neste sentido, o processo de afilhamento é pouco interessante para plantas em comunidade, pois o afilho estará atrasado ontogeneticamente em relação a planta mãe. Com isto cai a capacidade produtiva do afilho, devido a intensa competição com outros colmos. Este exemplo estabelece a necessidade de melhoria da base genética dos materiais unicolmos para desta forma, no futuro, encontrar um modelo de planta mais produtivo para situações de comunidade de plantas.

CARACTERÍSTICAS FAVORÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS EM COMUNIDADE

O estudo do comportamento das plantas em comunidade e dos fatores que afetam o rendimento das culturas tem sido objetivo de muitos trabalhos. Neste sentido, a seleção de características que conjuntamente propiciem melhoria no desempenho das plantas em comunidade poderá melhorar a expressão da capacidade produtiva das culturas. Estas características devem propiciar máxima capacidade de interceptação da radiação solar, eficiente conversão da energia luminosa em energia química, utilização adequada da energia química na formação de compostos orgânicos e, finalmente, direcionamento destes compostos para os órgãos da planta de interesse econômico. Para que isto ocorra de forma eficiente são analisados alguns parâmetros que poderiam merecer mais atenção por parte dos melhoristas. Estas características são de fácil manipulação em programas de melhoramento e sua associação com o melhor desempenho das plantas está baseado em trabalhos de fisiologia e bioquímica. Em relação a conceituação de rendimento potencial é importante padronizar uma definição e as condições em que se pretende obtê-las. Para LOOMIS & WILLIAMS, (1963) esta definição considera valores de radiação global, e por esta razão os resultados calculados para rendimento são elevados e ainda distantes da atual realidade. No presente trabalho será considerado rendimento potencial como o rendimento de uma cultivar que cresce em ambiente adaptado, sem limitação de água e nutrientes e demais estresses devidamente controlados (EVANS, 1993).

Crescimento inicial

Esta característica está diretamente ligada ao aproveitamento da radiação solar disponível no início do ciclo das culturas, pois é o subperíodo de desenvolvimento que apresenta menor absorção da

radiação pela comunidade. Na cultura do girassol a máxima absorção da radiação fotossinteticamente ativa se dá na antese (75 dias após a emergência), e metade deste valor só irá ocorrer aos 50 dias (BARNI *et al.*, 1995). Isto mostra que no início do ciclo dos cultivos o desperdício de radiação é muito grande. Neste sentido, plantas com maior crescimento inicial, que cobrem mais rapidamente o solo, se beneficiam com maior captação de energia.

O crescimento de plantas não é regulado somente pela assimilação de carbono, mas também pela partição de assimilados. A regulação destes processos é controlada pelo genótipo e pelo ambiente (ROCHER *et al.*, 1989). Variação genética para o crescimento inicial tem sido identificada em milho através de diferentes características, tais como taxa de aparecimento de folhas, número de folhas, área foliar, acumulação de matéria seca e vigor inicial de plântulas (CAUSSE *et al.*, 1995). O crescimento inicial e a concomitante acumulação de matéria seca são dependentes principalmente da absorção de C através da fotossíntese e subsequente partição. As tentativas de correlacionar a taxa fotossintética com a atividade de determinadas enzimas, tais como ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) e fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), não tem levado a resultados consistentes (CAUSSE *et al.*, 1995). Algumas poucas enzimas tem sido identificadas como enzimas controladoras de processo metabólicos de carboidratos. Na rota de síntese de amido podem ser citadas a ADP glicose-pirofosforilase (ADPG-PPase) e sintetase de amido para síntese de amido. Para a síntese de sacarose a sacarose fosfato-sintetase (SPS) (CAUSSE *et al.*, 1995). A atividade desta última e sua associação com o crescimento inicial de milho foi avaliada por CAUSSE *et al.* (1995) comparando híbridos e linhagens. Em híbridos a atividade da SPS da quarta folha correlacionou-se com o rendimento de matéria seca, podendo, segundo os autores regular o crescimento inicial de milho. Resultado similar foi obtido por ROCHER *et al.* (1989) estudando oito genótipos de milho de diferentes taxas de crescimento inicial. Quatro enzimas foram avaliadas: Rubisco; PEPcase; SPS e; ADPG-PPase. Destas, apenas a atividade da SPS foi associada com a taxa de crescimento médio em estádios iniciais.

A expressão de crescimento inicial pode ser obtida pela heterose em milho quando plântulas de híbridos emergem mais rapidamente do que as de linhagens (ROOD *et al.*, 1990). Neste caso estas plântulas também emergem mais rapidamente, são de porte maior, mais pesadas e com maior área foliar.

ROCHER *et al.* (1989), ROOD *et al.* (1990) e CAUSSE *et al.* (1995) reforçam a hipótese de que o crescimento inicial é uma característica importante para a capacidade produtiva dos cereais e que estaria correlacionada com algumas enzimas chaves no processo de fixação e distribuição dos fotoassimilados na planta.

A seleção de materiais com maior crescimento inicial pode ser feita pela visualização, atribuído notas e por métodos que avaliem a matéria seca das plântulas. Também pode ser avaliado pelo nível enzimático, quando o crescimento inicial se correlacionar de forma satisfatória com a atividade de certas enzimas, principalmente a SPS. Desta forma, o crescimento inicial pode ser considerado em programas de melhoramento, principalmente por sua fácil medição e estar correlacionado com fatores fisiológicos do crescimento e desenvolvimento das plantas.

Fitomassa

A produção de massa seca no período anterior ao florescimento representa o potencial que a comunidade pode investir na formação de grãos, respeitando suas características de índice de colheita. Nos últimos 50 anos o enfoque para o aumento da produtividade dos cereais de estação fria visou a melhor partição de fotoassimilados, com consequente incremento no índice de colheita (BOUKERROU & RASMUSSEN, 1990). No entanto, o valor do IC está próximo ao seu valor máximo (AUSTIN *et al.*, 1980) e aumentos subsequentes no rendimento de grãos, terão necessariamente que passar pelo aumento da fitomassa da comunidade. Nas cultivares de cevada lançadas entre 1920 e 1984, o aumento no rendimento de grãos foi obtido basicamente pelo aumento do IC, com a fitomassa mantida praticamente inalterada (BOUKERROU & RASMUSSEN, 1990). Na cultivar Hanzen, lançada após este período, houve a seleção para fitomassa que proporcionou aumento de 12,5% nesta característica, mantendo o IC em 48%, elevando o rendimento de grãos em 15,7%. A fitomassa de uma comunidade pode ser usada como critério de seleção para aumentar o rendimento de grãos, o número de afilhos férteis e o número de grãos por espiga em trigo (SHARMA, 1993). No entanto, para obter aumento da fitomassa da comunidade não significa selecionar plantas mais vigorosas, mas sim plantas que em densidade adequada manifestem o seu crescimento máximo. Ao mesmo tempo, elas devem permitir que as plantas vizinhas também possam manifestar esta característica.

A avaliação da fitomassa pode ser feita através de notas visuais que agrupadas em uma escala para fitomassa permite a separação genética dos materiais (BOUKERROU & RASMUSSEN, 1990). No entanto, para a identificação de plantas mais adequadas para fazerem parte de uma comunidade a metodologia é mais restrita. MOOT & MCNEIL (1995) sugerem o estabelecimento de um índice de competição, que compara as plantas mais vigorosas da comunidade (de maior massa) com a média destas plantas em baixa densidade (9 plantas/m²). Segundo os autores, este índice indica que a competição intraespecífica para plantas pouco vigorosas é menor do que para plantas vigorosas. Sendo estas plantas mais tolerantes à elevação da densidade, podem ser mais produtivas numa comunidade. Desta forma, pode-se conciliar a capacidade de tolerar a competição de um determinado genótipo (denominado por DONALD (1968) de fraco competidor) com a elevada fitomassa da comunidade.

Plantas com maior fitomassa podem originar grande área fotossintética para produção de carboidratos, como também espigas grandes e com grãos maiores e mais pesados (BOUKERROU & RASMUSSEN, 1990). No entanto, com o objetivo de obter uma comunidade com grande fitomassa, este modelo de planta não necessariamente leva a esta situação. A obtenção de elevado rendimento na comunidade pode não estar associado ao tamanho relativo das partes que compõem cada planta. Numa visão simplista, a maior fitomassa da comunidade não pode ser obtida simplesmente pelo aumento do ciclo da cultura ou elevação da estatura de planta. No entanto nos últimos anos cresce a importância da seleção para ciclo precoce e resistência ao acamamento (BOUKERROU & RASMUSSEN, 1990). Um novo modelo de planta deve enquadrar-se dentro desta realidade e conciliar as três características, embora seja uma difícil etapa a ser vencida.

Tamanho de folha

O rendimento de grãos pode ser incrementado maximizando a eficiência fotossintética da comunidade. Esta pode ser conseguida pela melhoria da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela comunidade, pela eficiente conversão da radiação interceptada em matéria seca e pela partição de fotoassimilados nos órgãos reprodutivos (SLAFER & ANDRADE, 1991). O tamanho de folha enquadra-se nas relações existentes entre a interceptação da radiação por planta e a interceptação pela comunidade.

A manipulação do tamanho da folha pode ser uma forma alternativa de aumentar a fixação de CO₂ por área. Já que, para conseguir este último objetivo, os trabalhos específicos de seleção direta para aumentar a capacidade fotossintética não apresentaram resultados positivos para modificar o rendimento potencial (FORD *et al.*, 1983, GAY *et al.*, 1980). Isto poderia ser feito tomando com base a relação entre tamanho de folha e eficiência fotossintética. As cultivares modernas de trigo apresentam folhas mais largas, em razão do aumento do nível de ploidia e menor taxa fotossintética do que suas espécies genitoras (JOHNSON *et al.*, 1987). Esta foi a interpretação dada por LECAIN *et al.* (1989) ao identificarem que linhagens isogênicas anãs de trigo apresentavam maior taxa de troca de CO₂ e maior condutância estomática em relação as altas. As linhagens portadoras dos genes de nanismo apresentavam maior relação entre área de mesófilo e área foliar e maior densidade estomatal. Resultados semelhantes foram obtidos por MORGAN *et al.* (1990), com a cultivar de trigo Norin 10. Em plantas com genes de nanismo há uma concentração dos componentes fotossintéticos, devido a presença de folhas relativamente menores em comparação com folhas de cultivares altas. Este efeito pode ser conseguido com a aplicação de redutores de crescimento em milho, produzindo plantas com folhas menores e mais finas, aumentando a densidade estomatal, o conteúdo de proteínas e clorofila e a taxa de assimilação de CO₂ (KASELE *et al.*, 1995).

Igualmente deve ser considerado que o tamanho de folhas também tem implicação com a distribuição e qualidade da luz dentro de uma comunidade e seus efeitos sobre a modulação do crescimento das plantas (KASPERBAUER *et al.*, 1984, BALLARÉ *et al.*, 1987, SMITH *et al.*, 1990). Folhas pequenas podem ser fundamentais no início do crescimento das plântulas, onde está se determinando o potencial produtivo da comunidade. Com folhas de tamanho reduzido pode se obter melhor qualidade de luz na comunidade em razão de absorverem menor quantidade de radiação vermelha. Desta forma, genótipos com as primeiras folhas pequenas podem crescer num ambiente com melhor qualidade de luz dentro da comunidade e serem superiores em potencial produtivo.

A folha de tamanho reduzido, uma característica de fácil manipulação pelos melhoristas, pode estar melhorando a qualidade da luz dentro da comunidade e aumentando a eficiência das folhas em converter CO₂ em fitomassa.

A senescência das folhas é um processo, como tantos outros, controlado geneticamente e por fatores do meio. Este processo é de grande importância prática porque durante a sua ocorrência, nutrientes são reciclados para outras partes da planta (GAN & AMASINO, 1997). Por outro lado, com a senescência há diminuição na área fotossintética. Neste sentido, para plantas em comunidade, onde se objetiva o aumento do rendimento potencial, a velocidade e o sincronismo de ocorrência da senescência deve ser investigada. A manipulação da senescência seria obtida através da engenharia genética, através do aumento da produção de citocinina ou redução da produção de etileno (GAN & AMASINO, 1997). Desta forma, além de se trabalhar com tamanho de folhas, a senescência seria outra característica a ser manipulada e assim fazer parte de genótipos idealizados para melhor desempenho de plantas em comunidade.

Tamanho e número de grãos

Os grãos, que representam o rendimento econômico, atuam como forte competidores no processo de distribuição de fotoassimilados, competindo com outros órgãos que também demandam estes produtos. O pressuposto de que esta força de demanda pode regular a atividade fotossintética tem sido objetivo de muitos estudos. No entanto não está bem clara a relação entre força de demanda e tamanho da fonte supridora de fotoassimilados para formação dos grãos (JONES & SIMMONS, 1983, FISCHER & HILLERISLAMBERS, 1978, LAUER & SHIBLES, 1987, EGLI *et al.*, 1985, MACHADO, *et al.*, 1993). Algumas evidências do efeito regulatório dos órgãos de demanda na atividade fotossintética das folhas foram discutidas por SESAY (1993). Elas podem ser vistas no trabalho de SLAFER & SAVIN (1994) pela relação entre duração da área foliar verde e força de demanda em trigo. Neste caso a disponibilidade de carboidratos proveniente da fotossíntese, após antese, das reservas de folhas e de caules foi mais do que suficiente para o adequado enchimento de grãos. Este é o caso em que a formação dos grãos não é limitada pelo tamanho da fonte. A habilidade intrínseca do grão em atrair assimilados (força de demanda) é um dos aspectos fisiológicos que pode ser limitante (JONES *et al.*, 1996). No entanto, seleção de grãos mais pesados tem sido pouco eficiente (MALLMANN *et al.*, 1994). Segundo GIURA & SAULESCU (1996) isto se deve ao tamanho do grão ser resultado do efeito de genes localizados em muitos cromossomos, que afetam o tamanho, a forma e a densidade do grão.

Uma alternativa para este problema pode ser visualizada no trabalho de JONES *et al.* (1996) sobre o potencial de crescimento e a massa de grãos de milho. Eles são decorrentes do controle genético do número de células do endosperma e o número de grãos de amido, na fase inicial do desenvolvimento dos grãos. Assim, a força de demanda pode ser fixada em função da época de início, da taxa e da duração da divisão celular e do início de formação de amiloplastos no endosperma. Com isto, o número de células do endosperma e/ou o número de grãos de amido poderiam ser indicadores da força de demanda em milho. Neste enfoque, a seleção para tamanho de grão teria que ser realizada em materiais que apresentem estas características. Com isto, deixa-se de selecionar por um parâmetro muito dependente do ambiente e passa-se a selecionar uma característica de maior herdabilidade, eliminando-se uma das principais causas para a falta de resposta à seleção de tamanho de grãos.

O rendimento de grãos também é dependente do número de grãos produzidos, conseqüentemente a força de demanda também está relacionada a este componente do rendimento. OTEGUI & MELÓN (1997) investigaram se o grau de desenvolvimento floral representa limitação na formação de grãos em milho. Como conclusão obtiveram que o número de fileiras de grãos é determinado precocemente no período de diferenciação da espiga. Além disso, também concluíram que híbridos que diferenciavam maior número de grãos por espiga o faziam em decorrência do menor abortamento de flores. Os autores correlacionaram estes resultados com a partição de assimilados pela planta, sendo que os híbridos com maior abortamento de flores eram os que tinham uma partição menos eficiente. Desta forma, a seleção de materiais com maior capacidade de diferenciar e manter flores pode contribuir para que os grãos tenham maior habilidade em atrair carboidratos. Da mesma forma que para tamanho de grãos, o conhecimento dos fatores reguladores do número de grãos é fundamental para maior eficiência na seleção de genótipos mais produtivos. Em conseqüência disto, a habilidade em diferenciar flores parece ser um bom parâmetro a ser utilizado por programas de melhoramento.

CONCLUSÕES

O sucesso dos programas de melhoramento tem contado essencialmente com a experiência e a arte dos melhoristas em selecionar plantas produtivas

(DUVICK, 1996). A proposta de inclusão de alguns parâmetros no processo de seleção de plantas pode reduzir o empirismo e aumentar a eficiência no uso de recursos e do tempo para obter uma nova cultivar (SEDGLEY, 1991). As características discutidas neste trabalho tem base em áreas afins ao melhoramento e tem como objetivo integrá-las numa cultivar para propiciar o aumento da eficiência de utilização das técnicas de cultivo hoje disponíveis. Não é objetivo desta discussão analisar a capacidade da planta em explorar os limites de seus processos fisiológicos quando os recursos do ambiente são ilimitados. Neste último enfoque, BUGBEE & SALISBURY (1988) mostraram que o trigo é fisiologicamente e geneticamente capaz de maior produtividade de grãos e maior eficiência fotossintética com valores elevados de nutrientes, suplementação de radiação, de CO₂ e outros. No entanto, o que se procura é melhorar a capacidade produtiva de uma cultivar em comunidade para que ela explore mais eficientemente o ambiente. Neste trabalho, mostra-se que há resposta positiva pela incorporação de cada uma das características propostas de forma isolada. No entanto, há que se demonstrar que, estando todas elas incorporadas em um genótipo, a capacidade de reposta represente pelo menos o somatório dos efeitos individuais.

A sequência de respostas dadas pelos caracteres analisados inicia pelo vigoroso crescimento inicial, que permite um rápido recobrimento do solo, aliado a mais tempo para acumular matéria seca e, em consequência, mais fitomassa para a comunidade. Da produção de grande fitomassa decorre maior competição entre plantas e, portanto, menor área foliar por planta, obtida através de folhas menores será fundamental. Desta forma, a maior fitomassa obtida na comunidade se dará pelo ajuste adequado da densidade de plantas. O aumento da força de demanda aumenta a eficiência de translocação de fotoassimilados, representando maior número de grãos e/ou grãos mais pesados. O incremento de demanda permite melhor aproveitamento da capacidade fotossintética, principalmente na fase de enchimento de grãos, já que as limitações ao descarregamento de fotoassimilados serão diminuídas pela maior capacidade dos grãos em acumular matéria seca. Uma análise conjunta não pode esquecer que o porte das plantas e o investimento em caules e em folhas necessitam estar em equilíbrio com as estruturas reprodutivas. A busca de um índice de colheita o mais alto possível tem que ser uma meta conjunta com a incorporação de outros caracteres.

O sucesso de incorporação de característica como as referidas requer tempo e mesmo pequenos programas podem começar a investir neste tipo de

abordagem. A medida em que as barreiras tecnológicas começam a ser vencidas, a identificação de variabilidade genética e mesmo a transferência de características entre espécies torna-se-á mais fácil, o que permitirá melhor escolha e utilização de modelos de plantas mais adequados para uma comunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTIN, R.B., BINGHAM, J., BLACKWELL, R.D. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v. 94, p. 675-690, 1980.
- BALLARÉ, C.L., SÁNCHEZ R.A., SCOPEL A.L., *et al.* Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 10, p. 551-557, 1987.
- BARNI, N.A., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 201-216, 1995.
- BOUKERROU, L., RASMUSSEN, D.C. Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 31-35, 1990.
- BUGBEE, B.G., SALISBURY, F.B. Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 88, p. 869-878, 1988.
- CAUSSE, M., ROCHER, J., PELLESCI, S., *et al.* Sucrose phosphate synthase: an enzyme with heterotic activity correlated with maize growth. *Crop Science*, Madison, v. 35, p. 995-1011, 1995.
- DOFING, S.M. Near-isogenic analysis of unculm and conventional-tillering barley lines. *Crop Science*, Madison, v. 36, p. 1523-1526, 1996.
- DOFING, S.M., KNIGHT, C.W. Yield component compensation in unculm barley lines. *Agronomy Journal*, Madison, v. 86, p. 273-276, 1994.
- DONALD, C.M. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, Wageningen, v. 17, p. 385-403, 1968.
- DUVICK, D.N. Plant breeding, an evolutionary concept. *Crop Science*, Madison, v. 36, p. 539-548, 1996.
- EGLI, D.B., GUFFY, L.W., MECKEL, L.W. The effect of source-sink alterations on soybean seed growth. *Annals of Botany*, London, v. 55, p. 395-402, 1985.
- EVANS, L.T. Lead and complementary chapters. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE I, 1993. Ames, EUA. *Anais...* Ames, Crop Science Society of America, 1993, p. 687-696.
- FISCHER, R.A., HILLERISLAMBERS, D. Effect of environment and cultivar on source limitation to grain weight in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, v. 29, p. 443-58, 1978.

- FORD, D.M., SHIBLES, R., GREEN, D.E. Growth and yield of soybean lines selected for divergent leaf photosynthetic ability. *Crop Science*, Madison, v. 23, p. 517-520, 1983.
- GAN, S., AMASINO, R.M. Making sense of senescence. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 113, p. 313-319, 1997.
- GAY, S., EGLI, D.B., REICOSKY, D.A. Physiological aspects of yield improvement in soybeans. *Agronomy Journal*, Madison, v. 72, p. 387-391, 1980.
- GIURA, A., SAULESCU, N.N. Chromosomal location of genes controlling grain size in a large grained selection of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Euphytica*, Wageningen, v. 89, p. 77-80, 1996.
- HAMBLIN, J. The ideotype concept: useful or outdated? In: : INTERNATIONAL CROP SCIENCE I, 1993. Ames, EUA. *Anais...* Ames, Crop Science Society of America, 1993, p. 589-598.
- JOHNSON, R.C., KEBEDE, H., MORNHINWEG, D.W., *et al.* Photosynthetic differences among *Triticum* accessions at tillering. *Crop Science*, Madison, v. 27, p. 1046-1050, 1987.
- JONES, R.J., SCHREIBER, M.N., ROESSLER, J. Kernel sink capacity in maize. Genotypic and maternal regulation. *Crop Science*, Madison, v. 36, p.301-306. 1996.
- JONES, R.J., SIMMONS, S.R. Effect of altered source-sink ratio on growth of maize kernels. *Crop Science*, Madison, v. 23, p. 129-34. 1983.
- KASELE, I.N., SHANAHAN, J.F., NIELSEN, D.C. Impact of growth retardants on corn leaf morphology and gas exchange traits. *Crop Science*, Madison, v. 35, p. 190-194, 1995.
- KASPERBAUER, M.J., P.G. HUNT e R.E. SOJKA. Photosynthate partitioning and nodule formation in soybean plants that received red or far-red light at the end of the photosynthetic period. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 61, p. 549-554, 1984.
- KATO, T., TAKEDA, K. Associations among characters related to yield sink capacity in space-planted rice. *Crop Science*, Madison, v. 36, p. 1135-1139, 1996.
- KIRBY, E.J.M., JONES, H.G. The relation between the main shoots and tillers in barley plants. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, v. 88, p. 381-389, 1977.
- LAUER, M.J., SHIBLES, R. Soybean leaf photosynthetic response to changing sink demand. *Crop Science*, Madison, v. 27, p. 1197-1201, 1987.
- LAW, C.N. Genetic manipulation in plant breeding - prospects and limitations. *Euphytica*, Wageningen, v. 85, p. 1-12, 1995.
- LECAIN D.R., MORGAN, J.A., ZERBI, G. Leaf anatomy and gas exchange in nearly isogenic semedwarf and tall winter wheat. *Crop Science*, Madison, v. 29, p. 1246-1251, 1989.
- LOOMIS, R.S., WILLIAMS, W.B. Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Science*, Madison, v. 3, p. 67-72, 1963.
- MACHADO, E.C., ANDRADE LAGÔA, A.M.M., TICELLI, M. Relações fonte-dreno em trigo submetido a deficiência hídrica no estágio reprodutivo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v. 5, p. 145-150, 1993.
- MALLMANN, I.L., BARBOSA NETO, J.F., CARVALHO, F.I.F., *et al.* Mecanismos de seleção aplicados sobre o caráter tamanho de grãos em populações segregantes de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 3, p. 427-437, 1994.
- MARSHALL, D.R. Alternative approaches and perspectives in breeding for higher yields. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 26, p. 171-190, 1991.
- MOOT, D.J., MCNEIL, D.L. Yield components, harvest index and plant type in relation to yield differences in filed pea genotypes. *Euphytica*, Wageningen, v. 86, p. 31-40, 1995.
- MORGAN J.A., LECAIN, D.R., WELLS, R. Semidwarfing genes concentrate photosynthetic machinery and affect leaf gas exchange of wheat. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 602-608, 1990.
- OTEGUI, M.E., MELÓN, S. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: 1. sowing date affects. *Crop Science*, Madison, v. 37, p. 441-447, 1997.
- ROCHER, J.P., PRIOUL, J.L., LECHARNY, A, *et al.* Genetic variability in carbon fixation, sucrose-P-synthase and ADP glucose pyrophosphorylase in maize plants of differing growth rate. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 89, p. 416-420, 1989.
- ROOD, S.B., BUZZELL, R.I., MAJOR, D.J., *et al.* Gibberellins and heterosis in maize: quantitative relationships. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 281-286, 1990.
- SAYRE, K.D., RAJARAM, S., FISCHER, R. Yield potential progress in short bread wheats in Northwest Mexico. *Crop Science*, Madison, v. 37, p. 36-42, 1997.
- SEDGLEY, R.H. An appraisal of the Donald ideotype after 21 years. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 26, p. 93-112, 1991.
- SESAY, A. Sink capacity: a target for yield improvement. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE I, 1993. Ames, USA. *Anais...* Ames, Crop Science Society of America, 1993, p. 703-706.
- SHARMA, R.C. Selection for biomass yield in wheat. *Euphytica*, Wageningen, v. 70, p. 35-42, 1993.
- SLAFER, G.A., ANDRADE, F.H. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. *Euphytica*, Wageningen, v. 58, p. 37-49, 1991.
- SLAFER, G., SAVIN, R. Postanthesis green area duration in a semidwarf and standard-height wheat cultivar as affected by sink strength. *Australian Journal of Agriculture Research*, Melbourne, v. 45, p. 1337-1346, 1994.
- SMITH, H., CASAL, J.J., JACKSON, G.M. Reflection signals and the perception by phytochrome of the proximity of neighbouring vegetation. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 13, p. 73-78, 1990.
- WADDINGTON, S.R., RANSOM, J.K. OSMANZAI, M., *et al.* Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Science*, Madison, v. 26, p. 698-703, 1986.
- WADDINGTON, S.R., OSMANZAI, M., YOSHIDA, M., *et al.* The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *Journal of Agriculture Science*, Cambridge, v. 108, p. 469-477, 1987.